

Gestión integrada de gramíneas resistentes en maíz

Tratamientos de pre y post-emergencia y alternativas no químicas

Los actuales sistemas de producción agrícola en cultivos extensivos muestran una gran dependencia de los métodos de control químico contra las malas hierbas. El maíz no es una excepción, y la escarda de las malas hierbas también se basa con el control químico mediante herbicidas. Se trata de un cultivo de crecimiento lento en sus primeros estados de desarrollo y, por tanto, muy sensible a la competencia por malas hierbas. Además, éstas ocasionan daños importantes en el establecimiento del maíz y algunas de ellas son de difícil control, siendo el principal problema en este cultivo.

José María Montull y Joel Torra.

Grupo de Malherbología y Ecología Vegetal. Dpto. Hortofruticultura, Botánica y Jardinería. Agrotecnio. Universidad de Lleida.

Las malas hierbas continúan siendo el principal problema en el maíz español, situación agravada por la aparición de diversas especies de gramíneas resistentes a herbicidas inhibidores de la ALS. En este artículo se discuten las bondades de los tratamientos de pre-emergencia y post-emergencia para el control de estas poblaciones, se abordan estrategias culturales y también sistemas expertos de ayuda a la toma de decisiones, para su mejor manejo. Es importante recordar que si el año anterior las gramíneas se controlaron con un herbicida inhibidor de la ALS, este año es fundamental cambiar el modo de acción.



Es importante aplicar los herbicidas en estadios precoces del cultivo para eliminar la competencia temprana con las malas hierbas (Foto: Joel Torra).

Las especies de malas hierbas más frecuentes que aparecen en nuestros campos de maíz se pueden agrupar en gramíneas, anuales o perennes, y dicotiledóneas anuales. Especies de los géneros *Setaria*, *Echinochloa* y *Digitaria* y, entre las perennes, *Sorghum halepense*, son las más destacadas entre las gramíneas. Las principales malas hierbas dicotiledóneas son especies de los géneros *Amaranthus*, *Chenopodium*, *Solanum*, *Xanthium*, *Datura* o *Abutilon*.

El uso de los herbicidas ha permitido controlar la mayoría de especies de malas hierbas, para así mantener y aumentar la rentabilidad del cultivo del maíz. Sin embargo, el uso de estas herramientas como única estrategia de control de las malas hierbas está en entredicho por la cada vez más frecuente aparición de biotipos de malas hierbas resistentes a uno o varios herbicidas.

En los años 80 y 90 aparecieron en España varios casos de especies con poblaciones resistentes a triazinas, doce en total, que comprendían seis gramíneas y seis dicotiledóneas (Heap, 2020). Debido a la aparición de otras alternativas para su control, hasta hace una década la resistencia a herbicidas en maíz en España no era un problema preocupante.

Nuevos casos de resistencias

En algunas zonas de España de cultivo intensivo de maíz como el valle del Ebro o la zona centro, donde tradicionalmente no se ha realizado rotación de cultivos, en la última década han aparecido algunas especies de gramíneas con resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS o grupo B (cuadro I). Además, la reducción de otras prácticas culturales junto al monocultivo también ha favorecido esta problemática. Las sulfonilureas del grupo B han sido ampliamente utilizadas en post-emergencia, sobre todo para el control de *Setaria* ssp. y en especial de *S. halepense*, ya que



Infestación de *Echinochloa crus-galli* resistentes a inhibidores de la ALS en un campo de maíz cerca de la ciudad de Lleida (Foto. Joel Torra).

este es el único modo de acción disponible eficaz para su control en maíz. Hoy en día se ha confirmado la existencia de poblaciones españolas resistentes a estos herbicidas en *E. crus-galli* (Heap, 2020; Torra et al., 2019), *S. adhaerens* (Escorial et al., 2017) y *Sorghum halepense* (Heap, 2020). Además, en Europa esta resistencia se ha detectado en otras especies del género *Setaria*, como *S. viridis* o *S. glauca* (Darmency et al., 2017), por lo tanto, no sería de extrañar que ocurra lo mismo en nuestros maíces. Los mecanismos de resistencia en los casos españoles conocidos están indicados en el cuadro I.

Es de especial gravedad el caso del *S. halepense* porque los herbicidas inhibidores de la ALS son los únicos eficaces para su control en este cultivo. El caso descrito

aquí de *S. adhaerens* también es preocupante, porque de confirmarse, el metabolismo puede dar resistencia múltiple y cruzada a varios herbicidas con distinto modo de acción, dificultando enormemente el manejo químico de las poblaciones (Yuan et al., 2007).

Control químico

Para el control químico de estas especies de gramíneas resistentes a inhibidores de la ALS tenemos diversos herbicidas que pueden ser aplicados en pre-emergencia o post-emergencia de las malas hierbas (cuadro II).

Hay una limitación clara de los tratamientos de pre-emergencia y es que su acción residual puede no ser suficiente después de varias semanas de su aplicación, porque estas especies tienen una emergencia escalonada y pueden presentar emergencias tardías y escapar a estos tratamientos. Así, dentro de una estrategia de control integrado, sería recomendable retrasar la siembra de maíz para que la persistencia del herbicida fuese suficiente para alcanzar las últimas emergencias.

En post-emergencia precoz, las materias activas eficaces para el control de *Echinochloa* resistente son reducidas, y se ciñen básicamente a inhibidores de la HPPD (grupo F2): mesotriona, sulcotriona y tembotriona. Además de controlar las plantas ya emergidas tienen acción residual que, unida a su aplicación más tardía con respecto a la pre-emergencia, debería controlar la mayoría de emergencias posteriores durante el ciclo del maíz. Hay que

CUADRO I

CASOS CONFIRMADOS Y CONOCIDOS DE GRAMÍNEAS RESISTENTES A HERBICIDAS INHIBIDORES DE LA ENZIMA ALS (SULFONILUREAS) EN MAÍZ EN ESPAÑA.

Especie	Nombre común	Zonas	Mecanismo
<i>Sorghum halepense</i>	Sarrajón, cañota	Valle del Ebro y Tajo	Sustitución en la posición 574
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Mijera, pata de gallo	Valle del Ebro	Sustituciones en las posiciones 197 y 574
<i>Setaria adhaerens</i>	Almorejo	Toledo	Evidencias de metabolismo aumentado
Otras <i>Setaria</i> sp.?	Almorejos	?	?



La cañota (*Sorghum halepense*) es la principal gramínea perenne que podemos encontrar en el cultivo del maíz (Foto: Jordi Recasens).

tener en cuenta que estos herbicidas pueden no controlar bien todas las especies del género *Setaria*.

No hay ningún herbicida para un control eficaz de *S. halepense* resistentes al grupo B en pre-emergencia o en post-emergencia. Hay que tener en cuenta que el imazamox (y sus mezclas) no serían una opción válida para el control de estas gramíneas resistentes en cultivos Clear-field porque normalmente presenta resistencia cruzada a todas las familias de inhibidores de la ALS.

Finalmente, es importante destacar que la rotación o mezcla de materias activas con diferentes modos de acción es también esencial para prevenir el desarrollo de resistencias a más herbicidas en estas poblaciones de gramíneas. Por lo tanto, sería necesario rotar o mezclar los herbicidas aquí mencionados en la medida de

lo posible para el manejo de dichas resistencias.

Aspectos culturales para controlar estas gramíneas

El Real Decreto 1311/2012 establece el marco de actuación para conseguir un uso sostenible de los productos fitosanitarios, que implica alternativas al control químico de las malas hierbas y el fomento de una gestión integrada de las mismas. Será por tanto necesario integrar diferentes estrategias de manejo de malas hierbas, como la rotación de cultivos o el control mecánico. La rotación de cultivos ha sido descrita como la estrategia cultural más importante en el manejo de malas hierbas resistentes a herbicidas (Gill y Holmes, 1997). Además, la rotación de cultivos también permite utilizar herbicidas con un mecanismo de

CUADRO II

MATERIAS ACTIVAS REGISTRADAS EN MAÍZ EN ESPAÑA PARA EL CONTROL DE GRAMÍNEAS. SE DETALLA EL MOMENTO DE APLICACIÓN, PRE-EMERGENCIA (PRE) O POST-EMERGENCIA (POST).

Materia activa*	Grupo	Aplicación
Terbutilazina	C1	Pre y Post
Isoxaflutol	F2	Pre y Post
Mesotriona	F2	Pre y Post
Sulcotriona	F2	Post
Tembotriona	F2	Post
Pendimetalina	K1	Pre y Post
Dimetenamida-P	K3	Pre
Petoxamida	K3	Pre y Post
S-metolaclo-ro	K3	Pre y Post

* No se han incluido los herbicidas del grupo B (inhibidores de la ALS) a los que estas gramíneas pueden mostrar resistencia

acción diferente a los habitualmente usados en el monocultivo de maíz, posibilitando la rotación de modos de acción (**cuadro III**).

En el caso del maíz, una rotación adecuada con cultivos de invierno (cereales, colza, etc.) favorece la reducción del banco de semillas del suelo en el primer caso, y la rotación con cultivos de verano de hoja ancha (girasol, leguminosas, soja, etc.) la aplicación de modos de acción diferentes como los inhibidores de la ACCasa (grupo A). Otra alternativa es la siembra de alfalfa para las situaciones más difíciles, que nos permite también la aplicación durante varios años de herbicidas del grupo A y C1 y aprovechar el efecto de la siega para provocar el máximo agotamiento del banco de semillas.

Además, la rotación de cultivos puede llevar asociada un retraso de la fecha de siembra, como por ejemplo en el caso de la soja (de un mes o más), que ayuda a reducir el banco de semillas y elimina plántulas ya emergidas, evitando la competencia con el cultivo esa campaña y procurando también un mejor control en las sucesivas. En el caso de la cañota resistente a herbicidas inhibidores de la ALS, la rotación de cultivos es la única opción válida

para su control.

Finalmente no hay que olvidar que la escarda mecánica puede ser una opción válida para el control de estas gramíneas. Existen diferentes aperos disponibles en el mercado para un control entre las líneas del maíz, que siempre se pueden combinar con una aplicación de herbicidas en las líneas para un control óptimo. Esto permite reducir el impacto ambiental al tratar una superficie mucho menor.

IPMwise, para la toma de decisiones

Como hemos visto, la resistencia de las malas hierbas a los herbicidas complica la elección de formulados adecuados para su control. Además, hemos de tener en cuenta que para manejar los biotipos resistentes a herbicidas y prevenir su aparición es esencial obtener eficacias adecuadas, con el objetivo de evitar la recarga del banco de semillas del suelo.

Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones por parte de técnicos y agricultores, se han diseñado herramientas como IPMwise. Se trata de una aplicación informática que, en base a los resultados de la experimentación llevada a cabo por el grupo de Malherbología y Ecología Vegetal de la Universidad de Lleida, es capaz de predecir las eficacias herbicidas para cada parcela concreta en base a la infestación presente. Esta herramienta tiene en cuenta



Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones por parte de técnicos y agricultores, se han diseñado herramientas como IPMwise. Se trata de una aplicación informática capaz de predecir las eficacias herbicidas para cada parcela concreta en base a la infestación presente

qué herbicidas se ven afectados por cada mecanismo de resistencia y así modifica la eficacia prevista para cada caso concreto. Asimismo, en caso de indicarle qué modo de acción herbicida fue aplicado en años anteriores, modifica las recomendaciones para evitar repetir modos de acción y prevenir en lo posible, la aparición de nuevos casos de resistencia.

Conclusiones

Ante el difícil escenario que plantean las gramíneas resistentes a inhibidores de la ALS en el cultivo del maíz, es necesario combinar programas herbicidas adecuados (rotación o mezcla de modos de ac-

ción diferentes) con estrategias no químicas y culturales para una correcta gestión integrada.

La aplicación en preemergencia amplía el elenco de modos de acción a nuestra disposición. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que las aplicaciones en post-emergencia precoz de la mala hierba pueden ser también muy interesantes, como se ha mencionado. También hay que resaltar que si modificamos el momento de la intervención química entre años o combinamos pre- y post-emergencia en una misma campaña evitamos posibles adaptaciones germinativas de esas poblaciones.

Entre las estrategias no químicas la principal opción es la rotación de cultivos, porque lleva asociada cambios en la fecha de siembra y en los herbicidas utilizados, sin olvidar la escarda mecánica entre las líneas del cultivo con los diferentes aperos disponibles. ⁿ

AGRADECIMIENTOS

Parte de la información presentada en el presente artículo forma parte de un proyecto de investigación financiado por el Plan Nacional I+D+i (AGL2017-83325-C4-2-R) y que ha llevado a cabo el grupo de Malherbología y Ecología Vegetal de la Universidad de Lleida. El Dr. Joel Torra agradece la financiación por parte del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (contrato Ramon y Cajal RYC2018-023866-I).

BIBLIOGRAFÍA

- Darmency H, Wang T, Délye C (2017). Herbicide resistance in Setaria. En: Doust A, Diao X (eds). Genetics and Genomics of Setaria. PlantGenetics and Genomics: Crops and Models, vol 19. Springer.
- Escorial, M.C., Chueca, M.C., Loureiro, I. (2017). Caracterización de la resistencia al herbicida nicosulfuron en una población de Setaria adhaerens en el cultivo de maíz. XVI Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. Pamplona-Iruña 2017, 361-365.
- Gill GS, Holmes JE (1997) Efficacy of cultural control methods for combating herbicide-resistant Lolium rigidum. Pest Sci 51:352-358
- Heap, I. (2020). The international survey of herbicide resistant weeds. Online. Internet. 10 de enero de 2020, www.weedscience.org.
- Torra J, Montull JM, Royo-Esnal A, Taberner A, Salas M. (2019). Resistencia a inhibidores de ALS en una población española de Echinochloa crus-galli en un campo de maíz. XVII Congreso de la Sociedad Española de Malherbología. Vigo 2019.
- Yuan JS, Tranel PJ, Stewart CN (2007) Non-target-site herbicide resistance: a family business. Trends Plant Sci 12:6-13

CUADRO III

MATERIAS ACTIVAS REGISTRADAS ALFALFA, SOJA Y GIRASOL EN ESPAÑA PARA EL CONTROL DE GRAMÍNEAS. SE DETALLA EL MOMENTO DE APLICACIÓN, PRE-EMERGENCIA (PRE) O POST-EMERGENCIA (POST).

Materia activa	Grupo	Aplicación	Girasol	Alfalfa	Soja
Quizalofop	A	Post	Sí	Sí	Sí
Propanilofop	A	Post	Sí	Sí	Sí
Cicloxidim	A	Post	Sí	No	Sí
Clomazona	F4	Pre	No	No	Sí
Pendimetalina	K1	Pre	Sí	No	Sí
Metribuzina	C1	Pre	No	Sí	Sí
Propizamida	K1	Pre	No	Sí	Sí